

LUIGI SANTARELLI - ARRIGO GUZZINI

ANGELO SENESI

**Criteri di valutazione della attività pozzolanica
esaminata dal punto di vista chimico e da quello
fisico-meccanico**

Come è noto la constatazione che alcuni tufi e lapilli di origine vulcanica presentano la proprietà di dare, in miscela con calce ed acqua, malte resistenti anche sotto acqua, risale a circa 26 secoli or sono. È assodato infatti che le terre vulcaniche della isola di Santorino fossero già usate nel VII secolo avanti Cristo per rendere resistenti all'acqua le malte di calce destinate a rivestimenti di cisterne.

Da questa applicazione, iniziata evidentemente nel modo più empirico e sicuramente dovuta al caso fortuito, derivò, come normale conseguenza, la più semplicistica definizione di questi materiali, denominati col termine generico di pozzolane. Infatti la definizione che fin dall'antichità si dà di questi materiali, è in generale all'incirca la seguente: *Si chiamano pozzolane quei materiali di origine vulcanica che, benchè non abbiano di per sè proprietà cementanti, quando vengono miscelati intimamente con calce in presenza di acqua, forniscono una malta che fa presa e indurisce sott' acqua.*

Se questa definizione era sufficiente quando alla malta di calce e pozzolana non si richiedeva che una appropriata resistenza meccanica, non è più accettabile allo stato attuale della tecnica moderna, che ha esteso l'impiego della pozzolana alla preparazione dei cementi pozzolanici, le cui caratteristiche essenziali non consistono soltanto nelle resistenze ottenibili, ma anche nella facoltà che ha la pozzolana aggiunta di captare la calce di idrolisi in composti più stabili e meno solubili.

Tenendo appunto conto di queste esigenze che derivano dall'impiego che si fa attualmente delle pozzolane nel campo costruttivo, il Dr. Lea nel 1938, al Congresso di Stoccolma sulla chimica del cemento, aveva proposto una definizione più rispondente alle attuali nostre conoscenze sul chimismo delle reazioni fra calce e pozzolana. Ci piace riportare integralmente questa definizione che tiene molto opportunamente conto delle due proprietà essenziali della pozzolana cui più sopra abbiamo accennato: *“Le pozzolane sono materiali silicei che, nonostante non siano di per sè cementati, contengono costituenti i quali, alla temperatura ordinaria, possono combinarsi con calce in presenza di acqua, per formare composti aventi una debole solubilità e che possiedono proprietà cementanti”*.

Con questa definizione, cui il Lea giunge a seguito di un elaborato esame delle numerose ricerche effettuate sull'interessante problema tra la reazione fra calce e pozzolana, si viene a precisare che l'azione della calce sugli elementi della pozzolana consiste principalmente in una vera e propria reazione chimica.

Essenziale agli effetti di questa asserzione, è la constatazione che, man mano che la calce viene fissata dalla pozzolana e scompare quindi come idrato di calcio libero, aumenta la quantità di silice solubile in acido cloridrico diluito. Si verifica quindi una netta variazione di stato di questa silice che proviene dalla pozzolana che, messa in relazione con la fissazione della calce, porta come logica conclusione ad ammettere la formazione di silicati di calcio. Lo stesso dicasi per l'allumina e, se pur in minor misura, per l'ossido ferrico.

Queste constatazioni di carattere chimico sono state brillantemente confermate per via microscopica per la pozzolana Laziale e per quella di Bacoli da Tavasci ⁽¹⁾ che, in

(1) B. TAVASCI, « Il Cemento », 1947, n.º 6.

malte di calce e pozzolana vecchia di cinque anni, ha identificato cristalli ben formati di alluminati di calcio ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ e $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e microcristalli di silicati, sulla cui identificazione il Tavasci non si pronuncia con sicurezza, ma affaccia l'ipotesi che si tratti di un silicato di calcio idrato del tipo della okenite $\text{CaO}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o del silico-alluminato di calcio idrato $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, ritrovato dallo Strätling, come prodotto di reazione fra caolino disidratato e calce.

Esaminata da questo punto di vista, la valutazione di una pozzolana agli effetti della sua utilizzazione pratica in edilizia deve essere basata su due tipi di saggi distinti:

a) *Saggi atti a valutare la reattività della pozzolana con la calce e la velocità di questa reazione.*

b) *Prove tendenti a stabilire le capacità leganti dei prodotti della reazione fra calce e pozzolana.*

I saggi del primo tipo consistono generalmente in osservazioni microscopiche ed in determinazioni chimiche della calce combinata dalla pozzolana e dalla silice resa solubile in HCl , per effetto della trasformazione in silicati di calcio della silice reattiva contenuta nella pozzolana.

Le prove del secondo tipo si basano sulla determinazione delle resistenze meccaniche, ottenibili da malte di calce e pozzolana, in generale dopo i periodi di maturazione di 28 e 84 giorni.

Sulle diverse modalità esecutive per ambedue i tipi di saggi, che sono stati sperimentati e proposti dai molti ricercatori che si sono occupati, specialmente in Italia, di questo interessante e importante problema, ha già riferito, in altra sede, uno di noi ⁽¹⁾, mettendo in evidenza che i saggi per la valutazione della reattività della pozzolana risultati più probatori sono quelli basati sulla determina-

(1) L. SANTARELLI, *Pozzolane e Cementi Pozzolanici*, «L'Industria Italiana del Cemento», 1948.

zione per via chimica della calce combinata dalla pozzolana, agendo su soluzioni di calce mantenute sempre sature e sul dosaggio della silice resa solubile in acido cloridrico diluito per effetto di questa combinazione. Venivano segnalati in quella nota i saggi proposti da Feret e da Vittori sulla determinazione della solubilità della silice e dei sesquiossidi ed il metodo, molto razionale, sperimentato da Malquori per la determinazione della calce combinata.

Questi criteri generali sono stati appunto seguiti da noi quando abbiamo intrapreso una serie di ricerche per la valutazione con saggi chimici e fisico-meccanici di alcune pozzolane naturali e di prodotti a reattività pozzolanica ottenuti per adatta torrefazione di bentoniti e di caolini.

Sui risultati finora ottenuti in queste ricerche desideriamo appunto riferire per una esemplificazione della applicazione dei criteri generali più sopra esposti.

Parte sperimentale.

Lo scopo di queste nostre ricerche è di valutare l'attività di pozzolane artificiali ottenute da bentonite e caolino in confronto con pozzolane naturali della zona Laziale, e precisamente con quella di Barbarano (sulla linea Civita-vecchia-Orte) e con la pozzolana di Salone (sulla linea Roma-Sulmona).

Preparazione delle pozzolane artificiali.

Le pozzolane artificiali erano ottenute per adatti trattamenti termici di un caolino depurato e della bentonite di Ponza.

I trattamenti termici consistevano in calcinazioni per la durata di 6 ore alle temperature di 600° e 800° per il caolino e di 700° e di 800° per la bentonite.

TABELLA 1.

<i>Analisi del caolino</i>	<i>Composizione teorica</i>	<i>Analisi della bentonite</i>
P.F. 11,16	13,95	7,94
SiO ₂ 46,84	46,50	69,74
Al ₂ O ₃ 39,08	39,50	15,28
Fe ₂ O ₃ 0,69	=	1,91
CaO 0,25	=	1,37
MgO tracce	=	2,55
SO ₃ 1,70	=	1,44

Metodi di valutazione.

a) *Valutazione chimica.* La valutazione chimica consiste nella determinazione della velocità di reazione fra calce e pozzolana, effettuata seguendo nelle sue linee generali il metodo consigliato da Malquori e Sasso ⁽¹⁾, al quale abbiamo apportato qualche modifica per renderlo di più rapida attuazione.

In bottiglie da 1 litro venivano posti a reagire 25 grammi del materiale in esame, rispettivamente con 20 %, 35 % e 50 % di ossido di calcio purissimo e con 800 cm³ di acqua distillata priva di CO₂. Le bottiglie venivano mantenute in agitazione, avendo cura di aggiungere alla carica di ognuna una presa di palline di vetro per rompere i grumi che eventualmente avessero a formarsi. A intervalli di pochi giorni veniva saggiata la alcalinità totale della soluzione (mediante titolazione con HCl N/10) ed il contenuto in CaO (mediante dosaggio ponderale).

Dall'andamento delle due curve del contenuto in CaO gr/l e della alcalinità (anch'essa espressa convenzional-

⁽¹⁾ MALQUORI e SASSO, « La Ricerca Scientifica » 1935 - 3.

mente in CaO gr/l) in funzione del tempo, si può cogliere con sufficiente approssimazione il momento in cui la soluzione non è più satura rispetto alla CaO e si può quindi essere sicuri che questo ossido sia scomparso dal corpo di fondo.

I due diagrammi relativi alla pozzolana di Salone e a quella di Barbarano illustrano molto bene le variazioni di concentrazione delle sospensioni con 20 %, 35 % e 50 %.

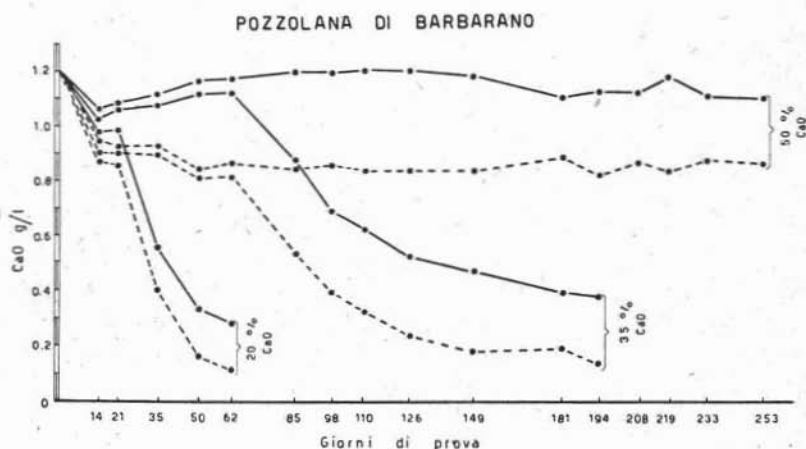


Fig. 1

Dall'andamento di queste curve si vede chiaramente il divario fra l'alcalinità totale e il contenuto in CaO , che tende ad aumentare dalla sospensione con 20 % di calce a quelle con il 35 % e con il 50 %. Questa differenza è evidentemente dovuta a piccole quantità di alcali della pozzolana spostati dalla calce per doppio scambio fin dai primi giorni di reazione e che riducono sensibilmente la solubilità della calce.

Dall'andamento delle curve appare che lo scambio basico raggiunge il suo massimo valore dopo circa 50 giorni.

Se esprimiamo l'alcalinità libera in mgr. di Na_2O per grammo di pozzolana trattata, troviamo che il valore massimo raggiunto nella liberazione degli alcali da parte delle pozzolane naturali è di 11 mgr di Na_2O per grammo di pozzolana, dell'ordine di grandezza cioè dell'1 %.

Queste determinazioni, pur avendo valore indicativo, dimostrano chiaramente che lo scambio basico raggiunge nelle pozzolane Laziali valori molto bassi.

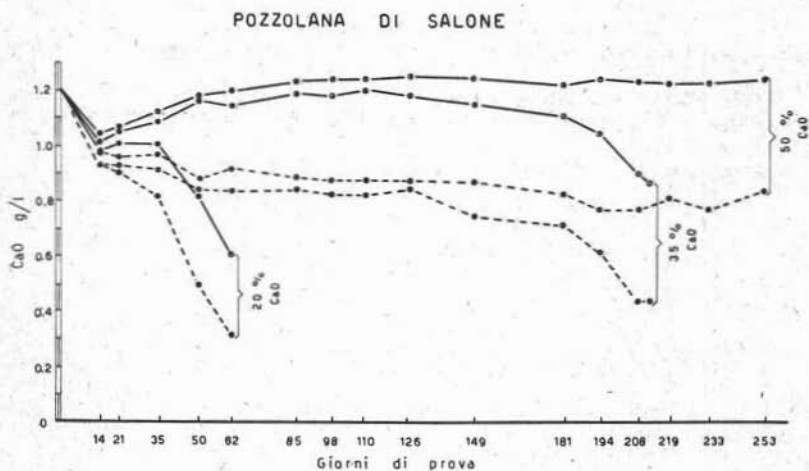


Fig. 2

Se ne conclude che a questo scambio calce-alcali ben poca importanza deve essere data per l'interpretazione del chimismo della reazione fra calce e pozzolana e tanto meno per la valutazione pratica di questi materiali.

Per quanto riguarda le pozzolane artificiali ottenute dal caolino e dalla bentonite, si è rilevato che questo scambio si riduce ancora di entità. Si è trovato infatti che per la bentonite naturale il massimo valore di alcalinità resa libera dal trattamento con CaO , è di 0,6 %. Per

le bentoniti trattate a 700° e 800° questo valore si abbassa a 0,4 %. Per i caolini abbiamo ottenuto valori dello stesso ordine di grandezza: 0,40 ÷ 0,62 %.

Ritornando ai diagrammi delle pozzolane di Salone e di Barbarano si rileva chiaramente come vengono individuati i punti nei quali le soluzioni non sono più sature di CaO, ed in corrispondenza dei quali ha sicuramente inizio la variazione della concentrazione della soluzione di contatto con il progredire dei tempi di prova.

TABELLA 2.

<i>Materiali sperimentati</i>	<i>Inizio della insaturazione</i>			Σ 20 0/0 + 35 0/0 + 50 0/0
	20 0/0 CaO	35 0/0 CaO	50 0/0 CaO	
Bentonite naturale	7 gg.	18 gg.	60 gg.	85 gg.
» trattata a 700°	7 gg.	18 gg.	28 gg.	53 gg.
» trattata a 800°	13 gg.	26 gg.	48 gg.	87 gg.
Caolino naturale	oltre i 252 giorni			
» trattato a 600°	8 gg.	13 gg.	16 gg.	37 gg.
» trattato a 800°	8 gg.	13 gg.	15 gg.	36 gg.
Pozzolana di Barbarano	28 gg.	68 gg.	oltre 252 gg.	96 Σ 20 % + 35 %
Pozzolana di Salone	28 gg.	137 gg.	oltre 252 gg.	165 Σ 20 % + 35 %

Adottando questi criteri di valutazione si sono potute ricavare le velocità di captazione della calce da parte dei diversi materiali pozzolanici studiati, ottenendo i valori che riportiamo nella tabella 2.

Vediamo di stabilire in base a questa velocità di captazione una specie di graduatoria della attività chimica delle pozzolane esaminate. Ci sembra che come indice di velocità sia opportuno adottare per ciascun materiale la sommatoria dei giorni di captazione relativa alle tre prove effettuate sul materiale stesso (20 % - 35 % e 50 % di CaO).

Adottando tale criterio si ottiene la seguente graduatoria:

- 1° { Caolino a 800°
- { Caolino a 600°
- 3°) Bentonite trattata a 700°
- 4° { Bentonite naturale
- { Bentonite trattata a 800°
- 6°) Pozzolana di Barbarano
- 7°) Pozzolana di Salone.

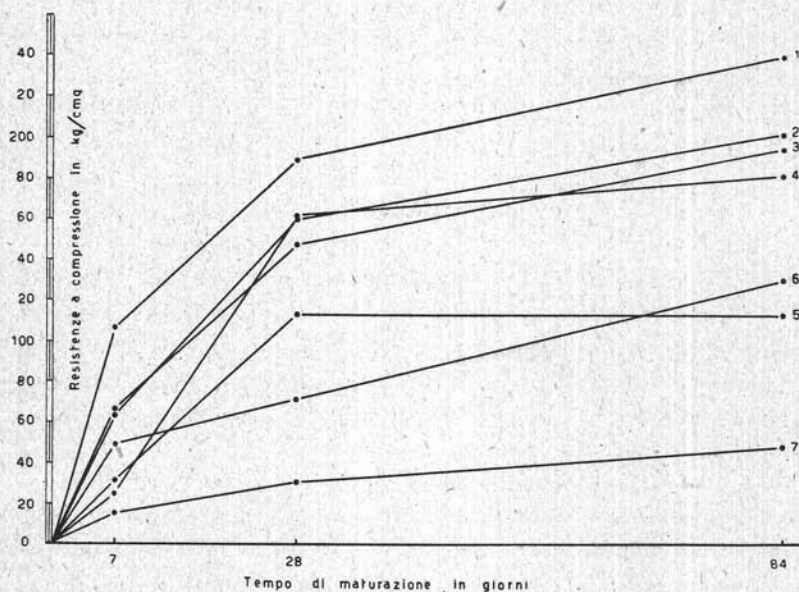


Fig. 3

Vediamo adesso se questa graduatoria coincide con quella ottenibile dalle prove fisico-meccaniche, effettuate su malta normale di 3 parti di sabbia e 1 parte di una miscela formata da 80 % del materiale pozzolanico finemente macinato e 20 % di calce idrata. I provini vengono provati alle sollecitazioni di trazione e di compressione

dopo 7, 28 e 84 giorni di maturazione in acqua. I risultati delle prove a compressione sono riportati nel grafico della figura 3 ⁽¹⁾. Da questi dati si può stabilire la graduatoria fisico-meccanica dei materiali sperimentati, che risulta la seguente:

	$\Sigma (R_7 + R_{28} + R_{84})$	Graduatoria chimica
1°) Bentonite a 800°	530 Kg/cmq.	5 ^a
2°) Pozzolana di Salone	427 »	6 ^a
3°) Pozzolana di Barbarano	406 »	7 ^a
4°) Caolino trattato a 600°	368 »	2 ^a
5°) Caolino trattato a 800°	260 »	1 ^a
6°) Bentonite trattata a 700°	252 »	3 ^a
7°) Bentonite naturale	78 »	4 ^a
8°) Caolino naturale	0 »	—

A lato della graduatoria fisico-meccanica abbiamo ripetuto quella chimica. Da questo confronto risulta chiaramente il disaccordo fra queste due graduatorie. Si esaminino infatti il comportamento delle pozzolane naturali. Esse presentano un lento assorbimento della calce, mentre invece risultano molto rapide dal punto di vista della attività meccanica. Interessante anche il comportamento della bentonite naturale che, risultata ottima dal punto di vista chimico e quasi pari alla bentonite trattata a 800°, si presenta come prodotto di nessun valore se valutata dal punto di vista fisico-meccanico. Si rileva quindi una netta differenza fra questo materiale ed il caolino che, allo stato naturale, è inattivo sia dal punto di vista chimico che da quello fisico-meccanico.

Allo scopo di cercare di chiarire questo caratteristico e singolare comportamento chimico della bentonite, abbiamo voluto analizzare i corpi di fondo rimasti nelle bot-

(1) Nel grafico della fig. 3 i vari materiali sperimentati sono contraddistinti con gli stessi numeri della graduatoria fisico-meccanica.

tiglie di reazione dei caolini e delle bentoniti, dopo la sparizione dell'idrato di calcio libero dalle sospensioni.

Conoscendo la composizione dei materiali sperimentati originali si è potuto, effettuando l'analisi completa dei corpi di fondo ed i dosaggi di SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , solubili in HCl diluito (attacco Florentin), risalire esattamente alla quantità di calce combinata da 100 parti di materiale ed alle percentuali di SiO_2 , Al_2O_3 ed Fe_2O_3 solubili, e che quindi si possono ritenere provenire da composti di neo-formazione.

Si è così potuto risalire alle prevedibili composizioni dei composti formati per reazione fra calce e caolini e bentoniti naturali e trattati termicamente, nelle condizioni di sperimentazione.

Date le minime percentuali di Fe_2O_3 contenuti nei corpi di fondo dei caolini e delle bentoniti, si può, per maggior semplicità, esprimere le composizioni dei singoli corpi di fondo nei contenuti di SiO_2 , Al_2O_3 , CaO. Se riportiamo queste composizioni centesimali in un diagramma ternario CaO- SiO_2 - Al_2O_3 (fig. 4), che possiamo immaginare come triangolo di base del diagramma quaternario tetraedico CaO- SiO_2 - Al_2O_3 - H_2O , si ricavano i vari punti rappresentativi ⁽¹⁾ i quali ci possono dire molto, se interpretati in relazione ai vari composti puri che possono essere rappresentati nel diagramma stesso.

I composti puri di cui abbiamo riportato le composizioni sul diagramma sono quelli che sono stati individuati o previsti da vari sperimentatori nei prodotti di reazione fra calce e pozzolana o nei prodotti di sintesi.

Così sul lato SiO_2 -CaO sono riportate le composizioni, senza acqua di idratazione, del bisilicato monocalcico (oke-nite) del silicato monocalcico, del trisilicato bicalcico e silicato bicalcico. Nel sistema CaO- Al_2O_3 compare l'allumi-

⁽¹⁾ Contrassegnati nel diagramma con $B_1, B_2 \dots B_6$ per i prodotti di reazione della Bentonite e con $C_1, C_2 \dots C_6$ per quelli del Caolino.

nato tricalcico, che il Tavasci ha riconosciuto con 6 e 12 mol. di acqua nelle malte pozzolaniche Laziali e Flegree.

Nell'interno del diagramma è poi riportata la composizione del composto ternario individuato per via röntge-

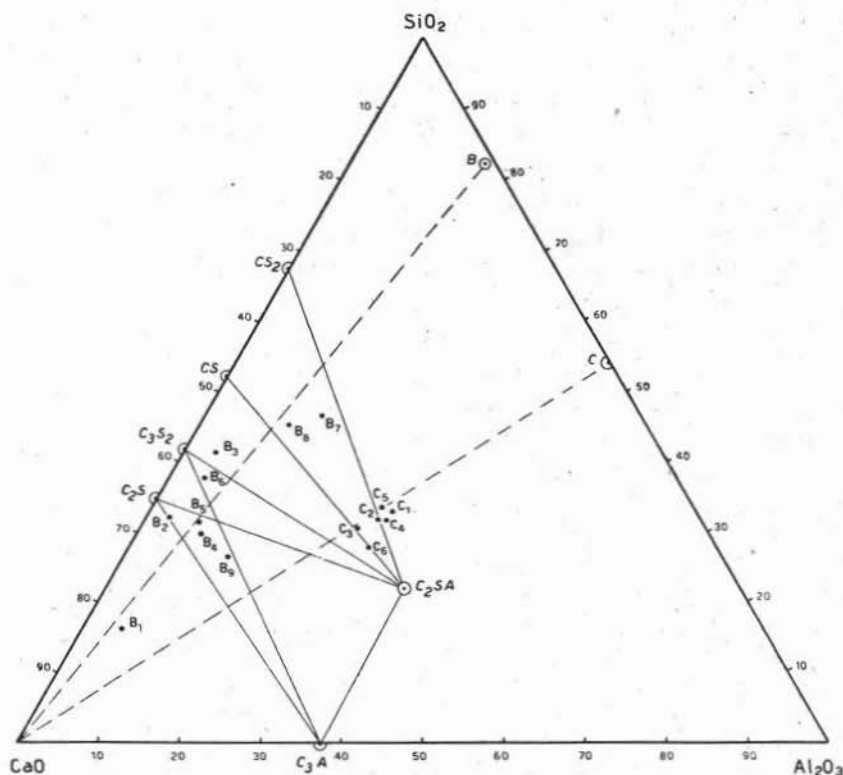


Fig. 4

nografica da Strätling, come prodotto di reazione fra caolino disidratato e calce, confermato anche dai successivi studi di Malquori e Cirilli.

Sono infine riportati anche i punti rappresentativi della bentonite originale (B) e del caolino (C), le cui compo-

sizioni sono naturalmente espresse nei soli tre componenti presi in considerazione CaO , SiO_2 ed Al_2O_3 .

Esaminando il diagramma così costruito, appare chiaramente la netta diversità di composizione dei prodotti di neo-formazione, ottenuti dal caolino e dalla bentonite.

Consideriamo in un primo tempo soltanto i prodotti di reazione del caolino disidratato per trattamento a 600° ed a 800° . Si rileva che i prodotti ottenuti con i diversi trattamenti presentano composizioni poco diverse fra loro e che, per lo stesso trattamento termico, con l'aumentare del rapporto tra calce e caolino nelle nostre esperienze, tende ad aumentare il rapporto fra calce e silice nei composti di neo-formazione, mentre quasi costante si mantiene il contenuto in allumina.

Si esaminino per esempio le composizioni della serie $\text{C}_1 - \text{C}_2 - \text{C}_3$ (caolino trattato a 600°)⁽¹⁾. Si nota un regolare aumento del rapporto $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$ passando dal rapporto $\frac{\text{calce}}{\text{caolino}}$ di 0,20 (prova con il 20 % di CaO) al rapporto 0,35 (prova con il 35 % di calce), al rapporto 0,50 (50 % di CaO). Se pur con minor regolarità, analogo comportamento presenta la serie $\text{C}_4 - \text{C}_5 - \text{C}_6$ (caolino trattato a 800°)⁽²⁾.

Se vogliamo mettere in relazione i punti rappresentativi di questi prodotti di neo-formazione con le composizioni dei composti puri, si rileva che i nostri prodotti di reazione dovrebbero essere costituiti dal composto di Strätling ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e da $\text{CaO}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (per i prodotti ottenuti per trattamento con 20 % e 35 % di CaO), e dal $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ e $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ per le prove con 50 % di CaO .

(1) $\text{C}_1 = \text{Caol. } 600^\circ + 20 \% \text{ CaO}$; $\text{C}_2 = \text{Caol. } 600^\circ + 35 \% \text{ CaO}$;
 $\text{C}_3 = \text{Caol. } 600^\circ + 50 \% \text{ CaO}$.

(2) $\text{C}_4 = \text{Caol. } 800^\circ + 20 \% \text{ CaO}$; $\text{C}_5 = \text{Caol. } 800^\circ + 35 \% \text{ CaO}$;
 $\text{C}_6 = \text{Caol. } 800^\circ + 50 \% \text{ CaO}$.

Si rileverebbe quindi una tendenza alla formazione di silicati tanto più basici, quanto più alto è il rapporto $\frac{\text{calce}}{\text{caolino}}$ adottato per le esperienze di reazione, ciò che è in accordo con gli autori che ci hanno preceduto in queste ricerche.

A considerazioni completamente diverse porta invece l'esame dei punti rappresentativi dei composti di neoformazione ottenuti dalle reazioni fra calce e bentonite trattata termicamente.

Si rileva come prima impressione una grande dispersione di punti, ciò che fa subito presumere una grande diversità di composizione dei vari prodotti di reazione e del chimismo delle varie reazioni.

Si esamini la serie $B_1 - B_2 - B_3$ ⁽¹⁾, relativa alla bentonite naturale. Contrariamente a quanto si è constatato per il caolino si rileva per questa serie che, con l'aumentare del rapporto tra calce e bentonite, *diminuisce il rapporto* $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$ *nei composti di neoformazione*. Non si tratta di piccole variazioni, ma di spostamenti molto netti e regolarissimi, per i quali si deve ammettere necessariamente una forte differenza di costituzione nei prodotti di neoformazione.

Mentre nei prodotti B_2 e B_3 , cadendo i loro punti rappresentativi nei diagrammi di composti definitivi, si può ammettere la presenza di questi composti, per il campione B_1 , il cui punto cade al di fuori della linea congiungente i due composti più basici, si deve ammettere che sia presente idrato di calcio adsorbito dalla bentonite, e, sotto questa forma, reso insolubile in acqua.

Nè si creda che si sia potuti incorrere in un grossolano errore sperimentale nel captare il punto di insaturazione della sospensione della bentonite naturale e calce,

(¹) $B_1 = \text{Bent. nat.} + 20\% \text{ CaO}$; $B_2 = \text{Bent. nat.} + 35\% \text{ CaO}$;
 $B_3 = \text{Bent. nat.} + 50\% \text{ CaO}$.

cui corrisponde il campione B_1 . Infatti il corpo di fondo di questa sospensione è stato separato ed analizzato soltanto quando la concentrazione in calce della soluzione era discesa a 0,13 ‰. Per una più sicura conferma abbiamo anche verificato mediante estrazione con alcole isobutilico (metodo di Franke) se nel corpo di fondo fosse contenuto idrato di calcio libero. Si è ottenuto con questo saggio il valore di 0,06 % di CaO , evidentemente dovuta alla soluzione calcica che imbeveva ancora il corpo di fondo.

Passando dall'esame della bentonite naturale a quello dello stesso materiale sottoposto a trattamento termico, rileviamo un maggior contenuto di silice resa solubile dal contatto con la calce e, man mano che aumenta la temperatura di trattamento, anche un più alto contenuto di allumina solubile.

Permane per la serie B_4 - B_5 - B_6 (trattamento a 700°) ⁽¹⁾ il fenomeno, cui già abbiamo accennato per la serie precedente e cioè che, con l'aumentare del rapporto $\frac{\text{calce}}{\text{bentonite}}$, diminuisce il rapporto $\frac{CaO}{SiO_2}$ nei prodotti di neo-formazione, se pure in modo meno marcato della precedente serie.

Passando alla 3^a serie B_7 - B_8 - B_9 (bentonite trattata a 800°) ⁽²⁾ si nota invece che si ripete il comportamento dei caolini e che cioè con l'aumentare del rapporto $\frac{\text{calcio}}{\text{bentonite}}$ aumenta parallelamente il rapporto $\frac{CaO}{SiO_2}$ dei prodotti di neo-formazione.

Si deve pertanto presumere che il passaggio da 700° a 800° nel trattamento termico abbia modificato notevolmente il materiale trattato, molto di più di quanto non avvenga nel caolino sottoposto a calcinazione a 600° e 800° .

⁽¹⁾ $B_4 = \text{Bent. } 700^\circ + 20 \% CaO$; $B_5 = \text{Bent. } 700^\circ + 35 \% CaO$;
 $B_6 = \text{Bent. } 700^\circ + 50 \% CaO$.

⁽²⁾ $B_7 = \text{Bent. } 800^\circ + 20 \% CaO$; $B_8 = \text{Bent. } 800^\circ + 35 \% CaO$;
 $B_9 = \text{Bent. } 800^\circ + 50 \% CaO$.

Interessante è la constatazione che la bentonite trattata a 700° è molto vicina come velocità di captazione e come resistenze meccaniche alla bentonite naturale e parallelamente ha con questo materiale molti punti di contatto, anche se si esaminano i composti di neo-formazione.

Da questo esame comparativo fra composti di neo-formazione si dovrebbe concludere che la bentonite, sia allo stato naturale che sottoposta a trattamento termico a temperature inferiori ai 700°, reagisce con la calce in modo nettamente diverso che non i caolini disidratati e la bentonite trattata a 800°; c'è da presumere che, a differenza dei caolini e delle pozzolane naturali, intervengano anche fenomeni di semplice adsorzione.

Il trattamento a 800° trasformerebbe nettamente la bentonite in un prodotto che presenta caratteristiche molto più vicine al caolino disidratato nel suo comportamento verso le soluzioni di calce. Con questa netta variazione di comportamento della bentonite coincide il netto miglioramento delle proprietà cementanti rilevate con i saggi fisico-meccanici, ciò che mette chiaramente in evidenza quanta importanza abbia sul comportamento pratico delle pozzolane il tipo di composti di neo-formazione.

Prima di chiudere questa trattazione desideriamo mettere in evidenza l'importanza che ha sulle resistenze delle malte il contenuto in Al_2O_3 nei composti di neo-formazione. Quanto più alto è questo contenuto e quindi più elevata la presumibile quantità di alluminato o di silico-alluminato, tanto più rapido è il raggiungimento delle massime resistenze.

Questo fatto si rileva nettamente per i caolini, che presentano il più basso rapporto $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ nei composti di neo-formazione.

*Lab. Chimico Centrale S. A. Italcementi.
Bergamo - Settembre 1949.*